100 Jahre elektromagnetische Wellen*

1. Heinrich Hertz – Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft

Von Hans Severin

Mitteilung aus dem Institut für Hoch- und Höchstfrequenztechnik der RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

In den Jahren 1887/88 gelang Heinrich Hertz der experimentelle Nachweis von elektromagnetischen Wellen, nachdem Maxwell 1865 deren Existenz aus seiner Feldtheorie gefolgert hatte. Heinrich Hertz' Forschungsergebnisse der Jahre 1885 bis 1889 über die „Ausbreitung der elektrischen Kraft" haben nicht nur die Entwicklung von Physik und Technik entscheidend beeinflußt, sie haben sich auch auf das Leben der ganzen Menschheit in einem damals nicht geahnten Ausmaß ausgewirkt. Seine Arbeiten liegen in drei Bänden als „Gesammelte Werke" [1] vor; einen Überblick über sein Leben gibt eine von seiner Tochter herausgegebene Zusammenstellung von Erinnerungen, Briefen und Tagebuchauszügen [2]; seine Persönlichkeit und sein Werk sind in Vorträgen und Biographien [3–8] gewürdigt worden.



Heinrich Hertz 1886

Als Heinrich Hertz Ende 1884, kaum 28jährig, auf den Lehrstuhl für Experimentalphysik der heutigen Universität Karlsruhe berufen wurde, bot ihm das dortige Institut für damalige Verhältnisse vielfältige Möglichkeiten für experimentelle Forschung. Während seiner vierjährigen Tätigkeit in Karlsruhe beschäftigte er sich vorwiegend mit Fragen der Elektrodynamik und hatte das hohe Ziel, die Richtigkeit der Maxwellschen Differentialgleichungen durch das Experiment zu bestätigen. Maxwell hatte das von Ampère entwickelte Durchflutungsgesetz um den Verschiebungsstrom im Dielektrikum ergänzt. Dieser geniale Schritt bedeutete, daß die Entstehung eines zeitlich sich ändernden Magnetfeldes nicht mehr – wie nach bisheriger Auffassung – an das Vorhandensein von Leitungsströmen gebunden ist, sondern daß auch ein sich änderndes elektrisches Feld überall im Raum ein magnetisches Feld induziert. Da nach dem Induktionsgesetz auch das Umgekehrte gilt, folgte, daß jede Änderung eines elektromagnetischen Feldes sich mit endlicher Geschwindigkeit im freien Raum ausbreiten muß. Die Hinzunahme des Verschiebungsstromes in der ersten Maxwellschen Gleichung führte also zwingend auf die Existenz von „elektrischen Wellen", die es in der bisherigen Theorie nicht gegeben und die niemand bislang wissentlich beobachtet hatte. Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieser Wellen errechnete Maxwell aus elektrischen Daten den durch Messungen schon bekannten Wert der Lichtgeschwindigkeit und zog daraus die Folgerung, daß Licht ein elektromagnetischer Wellenvorgang sein muß. Allerdings konnte man in seinen Aufzeichnungen nichts darüber finden, wie elektromagnetische Wellen zu erzeugen sind – eine Voraussetzung für die Prüfung der Richtigkeit seiner revolutionierenden Aussagen.

Dies gelang erst gut 20 Jahre später Heinrich Hertz, der in der „Einleitenden Übersicht" zu [1, Bd. II] den Anstoß zu seinen Versuchen wie folgt beschreibt: „Im Jahre 1879 hatte die Akademie der Wissenschaften zu Berlin als Preisarbeit die Aufgabe ausgeschrieben, irgend eine Beziehung zwischen den elektrodynamischen Kräften und der dielektrischen Polarisation der Isolatoren experimentell nachzuweisen, ... Ich Überlegte mir die Aufgabe und berechnete den Erfolg[1], welcher sich etwa unter den günstigsten Verhältnissen erwarten ließ, unter der Anwendung der Schwingungen Leydener Flaschen oder der Anwendung offener Induktionsapparate. Das Ergebnis war freilich nicht das gewünschte; es zeigte sich, daß eine unzweifelhafte Wirkung kaum zu hoffen war, vielmehr nur eine solche, welche an der Grenze der Beobachtung lag. Ich verzichtete daher auf die Bearbeitung jener Aufgabe; es ist mir auch nicht bekannt geworden, daß dieselbe eine anderweitige Bearbeitung gefunden hätte. Es blieb aber mein Ehrgeiz, die damals aufgegebene Lösung später dennoch auf irgend einem neuen Wege zu finden, zugleich war meine Aufmerksamkeit geschärft für Alles, was mit elektrischen Schwingungen zusammenhing. Es war nicht wohl möglich, daß ich eine neue Form solcher Schwingungen übersehen konnte, falls ein glücklicher Zufall mir eine solche in die Hände spielte."

* Anmerkung der Redaktion: Vor hundert Jahren entdeckte Heinrich Hertz die elektromagnetischen Wellen. Herr Professor Severin hat sich bereit erklärt, dazu für die FREQUENZ einige Beiträge zu schreiben, die in diesem und in folgenden Heften in loser Folge erscheinen werden.

[1] Heinrich Hertz war nach zwei Semestern Physikstudium in München im Herbst 1878 an die Universität in Berlin gegangen, die durch Hermann von Helmholtz und Gustav [illegible] Zeit [illegible] Er promovierte dort [illegible] Fe[illegible] [illegible] Induktion in rotierenden Kugeln".

Dieser Zufall trat im Herbst 1886 ein, als Hertz bei der Vorbereitung eines Vorlesungsexperiments überrascht war, „daß es nicht nöthig war, große Batterien durch die eine Spirale zu entladen, um in der anderen Funken zu erhalten" [1, Bd. II, S. 2]. Die eingehende Untersuchung dieser Beobachtung [9] ergab, daß nicht nur die Entladung Leydener Flaschen, sondern daß „vielmehr unter besonderen geeigneten Umständen die Entladung jedes beliebigen Leiters zu Schwingungen Anlaß giebt. Diese Schwingungen können viel kürzer sein als die der Flaschen.... Wir haben jetzt Zeichen, für welche der dreißigmillionste Theil der Sekunde nicht mehr kurz ist. Aber dieselben würden uns noch wenig nützen, wenn wir nicht imstande wären, ihre Wirkung bis in die beabsichtigte Entfernung von etwa zehn Metern auch wirklich wahrzunehmen. Es giebt hierfür ein sehr einfaches Mittel. Dorthin, wo wir die Kraft wahrnehmen wollen, bringen wir einen Leiter, etwa einen geraden Draht, welcher durch eine feine Funkenstrecke unterbrochen ist. Die rasch wechselnde Kraft setzt die Elektrizität des Leiters in Bewegung und läßt einen Funken in demselben auftreten.... Zunächst drängt sich uns eine Fülle von Fragen entgegen. Unter welchen Umständen werden unsere Schwingungen am stärksten? Welche Form geben wir am besten dem empfangenden Leiter? Wir können gerade, wir können kreisförmige Drähte, wir können Leiter anderer Form wählen, welche Größe wählen wir? Schnell zeigt sich, daß dieselbe nicht gleichgültig ist, daß wir nicht jede Schwingung mit demselben Leiter untersuchen können, daß Beziehungen zwischen beiden bestehen, welche an die Resonanzerscheinungen der Akustik erinnern" [10]. In einer ausgedehnten Versuchsreihe wurde eine Resonanzerhöhung der Funkenlänge um etwa den Faktor drei erzielt [9, Fig. 5]. Zum Hertzschen Oszillator kam zur Wahrnehmung der Schwingungen der Hertzsche Resonator.

Mit derartigen Erregern und Empfängern für „äußerst schnelle elektrische Schwingungen" konnte Hertz – in Erinnerung an das Thema der Berliner Preisarbeit – beweisen, „daß die elektrischen Vorgänge in den Isolatoren neben sicher nachgewiesenen elektrostatischen Wirkungen auch die entsprechenden elektrodynamischen Wirkungen mit sich führen" [11]. Dazu wurde der Empfänger in der Nähe des Oszillators so angeordnet, daß er zunächst funkenfrei blieb. „Wird jetzt das Gleichgewicht durch Annäherung von Leitern gestört, so treten wieder Funken auf", und die gleiche Erscheinung wird auch beobachtet, wenn anstelle der Leiter „größere Massen von Isolatoren genähert werden. Bei der Geschwindigkeit der Schwingungen sind nämlich die in den Isolatoren durch dielektrische Polarisation verschobenen Electricitätsmengen von derselben Größenordnung, wie die in den Metallen durch Leitung in Bewegung gesetzten". Die Äquivalenz von Leitungsstrom und Verschiebungsstrom im Dielektrikum nach der ersten Maxwellschen Gleichung war durch das Experiment als richtig bewiesen, ein großer Erfolg im damaligen Streit um die Theorie der Elektrodynamik erzielt.

Hertz' Freude über dieses Ergebnis wird sichtbar in einem Brief seiner Frau Elisabeth vom 9. November 1887 an seine Eltern [2, S. 180]: „Heins hat sein Manuskript Samstag an Helmholtz[2] abgeschickt und darauf schon Dienstag eine Karte von ihm erhalten, die nur folgende Worte enthält: ‚Manuskript erhalten. Bravo! Werde es Donnerstag überreichen zum Druck. H. v. Htz.' Das hat uns natürlich große Freude gemacht; aber außerdem hat Heins Montag schon neue Versuche begonnen, ... Er schüttelt die schönen Sachen gegenwärtig nur so aus dem Ärmel! Das macht ihn natürlich sehr vergnügt und mich auch, wenn er mir mit strahlendem Gesicht davon erzählt."

Nachdem ihm der Nachweis des Verschiebungsstroms im Dielektrikum gelungen war, ging Hertz der Frage nach, „ob auch im Luftraum veränderliche elektrische Kräfte mit Polarisationen von elektrodynamischer Wirksamkeit verknüpft sind. Man hat die Folgerung ziehen können, daß, wenn diese Frage zu bejahen ist, die elektrodynamischen Wirkungen sich mit endlicher Geschwindigkeit ausbreiten müssen" [12]. Während bei den bisherigen Versuchen Erreger und Empfänger relativ dicht beieinander angeordnet waren, vergrößerte Hertz jetzt ihren Abstand so weit, wie es der Hörsaal seines Instituts zuließ, nämlich bis zu 15 Metern. Dabei hat er „Erscheinungen beobachtet, welche eine Reflexion der Inductionswirkung von den Wänden des Gebäudes anzudeuten schienen ..., Prüfte ich Funken im secundären Leiter in sehr großen Entfernungen vom primären Leiter, woselbst die Funken schon äußerst schwach waren, so bemerkte ich, daß in den meisten Lagen des secundären Kreises die Funken wieder sehr deutlich zunahmen, wenn ich mich einer festen Wand näherte, um dann in unmittelbarer Nähe derselben fast plötzlich zu verschwinden. Die einfachste Erklärung schien mir diese, anzunehmen, daß die sich wellenförmig ausbreitende Inductionswirkung von den Wänden reflectirt würde, und daß die zurückgeworfenen Wellen die ankommenden in gewissen Entfernungen verstärkten, in anderen schwächten, indem durch die Interferenz beider stehende Wellen im Luftraum sich ausbildeten. Indem ich die Bedingungen mehr und mehr günstig gestaltete, trat die Erscheinung mehr und mehr hervor, und die gegebene Deutung wurde immer wahrscheinlicher" [13]. Um der einen Stirnwand des Hörsaals „noch mehr den Charakter einer leitenden Fläche zu ertheilen, wurde an derselben ein Zinkblech von 4 m Höhe und 2 m Breite befestigt. ... Gegenüber der Mitte dieser Wand in 13 m Abstand von derselben, also in 2 m Abstand von der Gegenwand, wurde der primäre Leiter (d. i. der Hertzsche Oszillator, der Verf.) aufgestellt". Der von der Wand zum Erreger hin verschiebbare Empfänger zeigte durch sein Funkenspiel deutliche Knoten und Bäuche des Interferenzfeldes, aus deren Abstand sich eine Wellenlänge von zirka 9 m ergab [13, Fig. 1]. Durch Multiplikation mit der berechneten Schwingungsdauer fand Hertz eine Ausbreitungsgeschwindigkeit, „welche der des Lichtes verwandt ist". Die Existenz elektromagnetischer Wellen war erwiesen, die Vorhersage Maxwells glänzend bestätigt.

Bei den anschließenden Untersuchungen, die wohl den Höhepunkt und zugleich einen gewissen Abschluß seines Werkes über elektromagnetische Wellen bilden, ging es Hertz darum, experimentell zu zeigen, daß die von ihm erzeugten Wellen und Lichtwellen derselbe physikalische Vorgang sind – lediglich mit dem viele Zehnerpotenzen betragenden Unterschied in der Wellenlänge. „Können wir mit Hilfe elektrischer Wellen unmittelbar die Erscheinungen des Lichtes herstellen, so bedürfen wir keiner Theorie als Vermittlerin; die Verwandtschaft tritt aus den Versuchen selbst hervor" [10]. Solche Versuche über die geradlinige Ausbreitung, Polarisation, Reflexion und Brechung elektromagnetischer Wellen wurden in der berühmten Abhandlung „Über Strahlen elektrischer Kraft" [14], die Hertz nach einer Mitteilung seiner Frau an die Eltern vom

[2] Hermann von Helmholtz, Professor für Experimentalphysik in Berlin und Lehrer von Heinrich Hertz während dessen Studium und Assistententätigkeit in Berlin (1878–1883).

9. Dezember 1888 „für die beste seiner Arbeiten hält" [2, S. 203], sehr eindrucksvoll beschrieben.

„Unmittelbar nachdem es mir geglückt war zu erweisen, daß sich die Wirkung einer elektrischen Schwingung als Welle in den Raum ausbreitet, habe ich Versuche angestellt, diese Wirkung dadurch zusammenzuhalten und auf größere Entfernungen bemerkbar zu machen, daß ich den erregenden Leiter in die Brennlinie eines größeren parabolischen Hohlspiegels aufstellte. Diese Versuche führten nicht zum Ziel, und ich konnte mir auch klar machen, daß der Mißerfolg nothwendig bedingt war durch das Mißverhältnis, welches zwischen der Länge der benutzten Wellen, 4–5 m, und den Dimensionen bestand, welche ich dem Hohlspiegel im besten Falle zu geben in Stande war".

Zur Durchführung der beabsichtigten Versuche benötigte Hertz Wellen wesentlich kürzerer Wellenlänge als die bisher benutzten. Durch die Verwendung beträchtlich kleinerer Erreger gelang ihm die Erzeugung einer Strahlung von 60 cm Wellenlänge. Deren Bündelung konnte er nachweisen, indem er Erreger- und Empfängerdipol in der Brennlinie je eines parabolischen Hohlzylinders anordnete. „Soll der Hohlspiegel die Fernwirkung recht concentrieren, so ist es vorteilhaft, seine Brennweite so klein als möglich zu wählen. Soll aber nicht die directe Welle die Wirkung der reflectierten sogleich wieder aufheben, so darf die Brennweite auch nicht viel weniger als ein Viertel Wellenlänge betragen. Ich wählte deshalb als Brennweite $12^1/2$ cm und stellte den Hohlspiegel her, indem ich ein Zinkblech von 2 m Länge, 2 m Breite und $^1/2$ mm Dicke über einem Holzgestell von genauer Krümmung in die gewünschte Gestalt bog. Die Höhe des Spiegels ergab sich so zu 2 m, die Breite seiner Öffnung zu 1,2 m, seine Tiefe zu 0,7 m. ... Die Drähte, welche die Entladung zuführten, ließ ich den Spiegel durchsetzen; das Inductorium und die Elemente befanden sich demnach hinter dem Spiegel und störten nicht." Ganz analog war die Empfangsseite aufgebaut, wobei wiederum die beiden vom Empfangsdipol „zur Funkenstrecke führenden Drähte auf dem kürzesten Weg die Wandung des Spiegels isolirt durchsetzen. Die Funkenstrecke befand sich alsdann unmittelbar hinter dem Spiegel, und der Beobachter konnte sie einstellen und betrachten, ohne den Lauf der Wellen zu stören. ... Die größte Entfernung, bis zu welcher ich unter Benutzung einer Thüröffnung den Strahl verfolgte, betrug 16 m" [14]. Heinrich Hertz hat mit dieser Anordnung zur Untersuchung von Ausbreitungsvorgängen – ohne es ahnen zu können – das Modell einer Richtfunkstrecke vorgestellt.

Durch den Hohlspiegel werden „die Wellen zusammengehalten und treten als kräftig dahin eilender Strahl aus. Wir können ihn durch Drehung des Spiegels in verschiedene Richtungen senden, wir können durch Aufsuchen des Weges, welchen er nimmt, seine geradlinige Ausbreitung erweisen" [10]. „Stellt man in die gerade Verbindungslinie der Spiegel senkrecht zur Richtung des Strahles einen Schirm von Zinkblech von 2 m Höhe und 1 m Breite, so verlöschen die secundären Funken vollständig. ... Isolatoren halten den Strahl nicht auf, durch eine Holzwand oder eine hölzerne Thür geht er hindurch. ... Dreht man die optische Achse des gebenden Spiegels nach rechts oder links um etwa 10° aus der richtigen Lage, so werden die secundären Funken schwach, bei einer Drehung um etwa 15° verlöschen sie" [14].

„Dass unser Strahl durch Transversalschwingungen gebildet wird und geradlinig polarisirt im Sinne der Optik ist, daran haben wir freilich schon nach der Art, in welcher wir ihn erzeugen, keinen Zweifel. Wir können die Thatsache aber auch durch den Versuch erweisen. Drehen wir unseren empfangenden Spiegel um den Strahl als Achse, bis seine Brennlinie und somit auch der secundäre Leiter in die horizontale Lage gelangt, so verschwinden die secundären Funken mehr und mehr, und wir erhalten bei gekreuzter Lage der beiden Brennlinien keine Funken, selbst wenn wir die Spiegel auf geringe Entfernung zusammenrücken ... Ich liess nun einen achteckigen Hohlrahmen von 2 m Höhe und 2 m Breite herstellen und denselben mit Kupferdrähten von 1 mm Dicke bespannen, alle Drähte waren einander parallel und jeder stand von seinem Nachbarn um 3 cm ab. Wurden jetzt die beiden Spiegel mit parallelen Brennlinien aufgestellt und der Drahtschirm senkrecht zum Strahl so in denselben eingeschoben, daß die Richtung der Drähte die Richtung der Brennlinien senkrecht kreuzte, so beeinträchtigte der Schirm die secundären Funken so gut wie gar nicht. Wurde aber der Schirm dem Strahl in solcher Weise entgegengestellt, daß seine Drähte den Brennlinien parallel waren, so fing er den Strahl vollständig ab" [14].

Zur Bestätigung des Reflexionsgesetzes stellte Hertz „die beiden Hohlspiegel so nebeneinander, daß ihre Öffnungen nach derselben Seite blickte, und daß ihre Achsen auf einen etwa 3 m vor ihnen liegenden Punkt convergierten. Die Funkenstrecke des empfangenden Spiegels blieb selbstredend dunkel. Nunmehr stellte ich eine ebene verticale Wand aus dünnem Zinkblech von 2 m Höhe und 2 m Breite im Kreuzungspunkt der Achsen so auf, daß sie senkrecht auf der Mittellinie der Achsen stand. Ich erhielt einen lebhaften Funkenstrom, herrührend von dem von der Wand reflektierten Strahle. Der Funkenstrom erlosch, sobald die Wand um eine verticale Achse um etwa 15° nach der einen oder anderen Seite aus der richtigen Lage herausgedreht wurde" [14]. „Wir können den reflektierten Strahl verfolgen und uns überzeugen, dass die Gesetze der Reflexion die der Reflexion des Lichtes sind" [10].

„Um zu versuchen, ob eine Brechung des Strahles beim Übertritt aus Luft in ein anderes isolierendes Medium nachzuweisen wäre, liess ich ein grösseres Prisma aus sogenanntem Hartpech, einer asphaltartigen Masse, herstellen. Die Grundfläche war ein gleichschenkliges Dreieck von 1,2 m Schenkellänge und einem brechenden Winkel von nahezu 30°. Die Höhe des ganzen Prismas, dessen brechende Kante vertical gestellt wurde, betrug 1,5 m. Da das Prisma aber ungefähr 12 Centner wog und als Ganzes zu schwer beweglich gewesen wäre, so war es aus drei übereinander gestellten Theilen von je 0,5 m Höhe zusammengesetzt" [14]. Der aus dem beobachteten Ablenkungswinkel der Wellen berechnete Brechungsindex 1,69 entsprach weitgehend dem nach der Maxwellschen Theorie aus der Dielektrizitätskonstante des Materials sich ergebenden Wert.

Das Ziel war erreicht, die von Maxwell postulierten elektromagnetischen Wellen experimentell realisiert, damit die Richtigkeit der Maxwellschen Gleichungen bewiesen und die Fernwirkungstheorie widerlegt, und auch Maxwells elektromagnetische Theorie des Lichtes experimentell gesichert. Zu seinen Forschungsergebnissen hat sich Hertz in verschiedenen seiner Schriften selbst geäußert: „Alle diese Versuche sind im Grunde sehr einfach, aber sie führen die wichtigsten Folgerungen mit sich. Sie sind vernichtend für jede Theorie, welche die elektrischen Kräfte als zeitlos den Raum überspringend ansieht. Sie bedeuten einen glänzenden Sieg der Theorie Maxwells" [10]. Und an anderer Stelle: „Diese Versuche mit den Hohlspiegeln sind

schnell aufgefallen, sie sind häufig wiederholt und bestätigt worden. Sie haben einen Beifall gefunden, welcher meine Erwartungen weit übertraf. Ein guter Theil dieses Beifalls entsprang einer philosophischen Quelle. Die alte Frage nach der Möglichkeit und dem Wesen der Wirkung in die Ferne war berührt. Die von der Wissenschaft geheiligte, vom Verstand aber nur ungern getragene Herrschaft der unmittelbaren Fernkräfte schien im Gebiet der Elektricität durch einfache und schlagende Versuche für immer zerstört" [1, Bd. II, S. 19]. Und schließlich: „Wir haben die von uns untersuchten Gebilde als Strahlen elektrischer Kraft eingeführt. Nachträglich dürfen wir dieselben vielleicht auch als Lichtstrahlen von sehr grosser Wellenlänge bezeichnen. Mir wenigstens erschienen die beschriebenen Versuche in hohem Grade geeignet, Zweifel an der Identität von Licht, strahlender Wärme und elektrodynamischer Wellenbewegung zu beseitigen" [14].

So ganz einfach waren die Versuche allerdings nicht, wie man Hertz' Beschreibung seines durch eine „feine Funkenstrecke" unterbrochenen Empfängers entnimmt: „Die Funken sind mikroskopisch kurz, kaum ein hundertstel Millimeter lang; ihre Dauer beträgt noch nicht den millionsten Theil einer Sekunde. Es erscheint unmöglich, fast widersinnig, dass sie sollten sichtbar sein, aber im völlig dunklen Zimmer für das geschonte Auge sind sie sichtbar. An diesem dünnen Faden hängt das Gelingen unseres unternehmens" [10]. Es grenzt für uns an ein Wunder, wie Hertz mit den aus heutiger Sicht doch recht bescheidenen Hilfsmitteln in erstaunlich kurzer Zeit diese ungeheuren Erfolge erzielen konnte.

Zwei Briefe von Helmholtz [2, S. 262/63] „in Angelegenheit der Besetzung der physikalischen Professur in Bonn", an Rudolf Lipschitz, Professor der Mathematik in Bonn, geben eine Erklärung, zunächst der vom 9. September 1888: „Für den talentvollsten und an originalen Ideen reichsten unter den jüngeren Physikern glaube ich Professor Hertz in Karlsruhe (zur Zeit auch Kandidat für Gießen) ansehen zu müssen. Er war früher kurze Zeit mein Assistent und ist ebenso befähigt, die abstraktesten mathematischen Theorien zu beherrschen, wie die daraus hergeleiteten Fragen experimenteller Art mit großer Geschicklichkeit und großer Erfindungsgabe in den Methoden zu lösen. Seine letzten Untersuchungen über Fortpflanzung der elektrodynamischen Wirkungen durch den Luftraum zeigen ihn als einen Kopf ersten Ranges". Und nach Hertz' frühem Tod[3] schreibt Helmholtz in gleicher Angelegenheit am 16. Januar 1894: „Bei der Berufung eines Nachfolgers für H. Hertz ist freilich nicht daran zu denken, daß Sie jemanden finden könnten, der diesen einzigen Mann ersetzen könnte ...".

Der Name des großen Forschers und Erfinders lebt in aller Welt fort, weil die Einheit der Frequenz, also die Zahl der Schwingungen pro Sekunde, international „Hertz" ist. In Deutschland wird sein Andenken gewahrt durch die Heinrich-Hertz-Gesellschaft, das 1929 gegründete Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung in Berlin, eine vom Land Nordrhein-Westfalen im Jahre 1962 eingerichtete Heinrich-Hertz-Stiftung, den 1968 fertiggestellten und nach ihm benannten Fernsehturm in seiner Geburtsstadt Hamburg und nicht zuletzt durch ein 1925 von deutschen wissenschaftlichen Gesellschaften und der deutschen Funkindustrie an der Stätte seiner größten Erfolge errichtetes Denkmal.

[3] Heinrich Hertz, geb. am 22. Februar 1857 in Hamburg, gest. am 1. Januar 1894 in Bonn.



Heinrich-Hertz-Denkmal an der Universität Karlsruhe

Schon wenige Jahre nach den grundlegenden Versuchen von Heinrich Hertz wurde als erste technische Anwendung von elektromagnetischen Wellen die drahtlose Telegraphie verwirklicht. Als man nach Erfindung von Elektronenröhre und Rückkopplungsprinzip ungedämpfte elektrische Schwingungen trägheitslos erzeugen konnte, wurden die elektromagnetischen Wellen in einem heute über viele Zehnerpotenzen sich erstreckenden Frequenz- bzw. Wellenlängenbereich zum Träger von Sprache, Ton, Bild und anderen Signalen. Mit Hilfe der von Hertz experimentell bestätigten Maxwellschen Gleichungen konnten nicht nur wesentliche Bauelemente, wie Antennen und Leitungen, entwickelt, sondern auch die Ausbreitungsvorgänge elektromagnetischer Wellen, z. B. längs der Erdoberfläche und in der Erdhülle, geklärt werden. Diese Entwicklung und der Stand 100 Jahre nach Hertz sollen in weiteren Beiträgen dargestellt werden.

Literatur:

[1] Hertz, H.: Gesammelte Werke.
Bd. I: Schriften verschiedenen Inhalts
Bd. II: Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft
Bd. III: Prinzipien der Mechanik
Leipzig: J. A. Barth, 1894/95.

[2] Hertz, J.: Heinrich Hertz, Erinnerungen, Briefe, Tagebücher. Leipzig: Akadem. Verlagsges. mbH, 1927.

[3] Wolf, F.: Heinrich Hertz. Die Technische Hochschule Fridericiana Karlsruhe. Festschrift zur 125-Jahr-Feier S. 67—73. Selbstverlag der Technischen Hochschule, Karlsruhe 1950.

[4] Wolf, F.: Heinrich Hertz, Leben und Werk[1], ETZ-A 78 (1957) S. 212—246.

[5] Rothe, H.: Heinrich Hertz, der Entdecker der elektromagnetischen Wellen[1]. ETZ-A 78 (1957) S. 247—251.

[6] Gundlach, F. W.: Die Technik der kürzesten elektromagnetischen Wellen seit Heinrich Hertz[1]. Nachr. techn. Z. 10 (1957) S. 317—328.

[7] Steiner, M.; Gerlach, W.; Paul, W.: In memoriam Heinrich Hertz[2]. Bonn: Peter Hanstein Verlag GmbH, 1958.

[8] von Laue, M.: Heinrich Hertz 1857–1894. Die großen Deutschen Bd. 4, S. 103–112. Berlin: Propyläen-Verlag, 1957.

[9] Hertz, H.: Über sehr schnelle elektrische Schwingungen, Wiedermanns Ann. Phys. 31 (1887) S. 421—447 und [1] Bd. II, S. 32—58.

[10] Hertz, H.: Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektricität. Vortrag bei der 62. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Heidelberg am 20. Sept. 1889. [1] Bd. I, S. 339—354.

[11] Hertz, H.: Über Inductionserscheinungen, hervorgerufen durch die elektrischen Vorgänge in Isolatoren. Sitzungsbericht der Berliner Akademie vom 10. Nov. 1887. Wiedemanns Ann. Phys. 34 (1888) S. 273—285 und [1] Bd. II, S. 102—114.

[12] Hertz, H.: Über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen. Sitzungsbericht der Berliner Akademie vom 2. Februar 1888. Wiedemanns Ann. Phys. 34 (1888) S. 551—568 und [1] Bd. II, S. 115—132.

[13] Hertz, H.: Über elektrodynamische Wellen im Luftraum und deren Reflexion. Wiedemanns Ann. Phys. 34 (1888) S. 610—623 und [1] Bd. II, S. 133—146.

[14] Hertz, H.: Über Strahlen elektrischer Kraft. Sitzungsbericht der Berliner Akademie vom 13. Dez. 1888. Wiedemanns Ann. Phys. 36 (1889) S. 769—783 und [1] Bd. II, S. 184—198.

Prof. Dr. H. Severin, Eicklöhken 21, D-4322 Sprockhövel 1

(Eingegangen am 25. 5. 1987)

[1] Vortrag bei der Gedenkfeier aus Anlaß der 100. Wiederkehr des Geburtstages von Heinrich Hertz am 22. Febr. 1957 an der TH Karlsruhe.

[2] Reden, gehalten am 22. Januar 1958 bei der Gedächtnisfeier der Mathematik-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Wilhelms-Universität Bonn.